Pour un pilotage dynamique et intégré

André THOMAS - CFPIM, CEXV,
Enseignant-chercheur à l'ENSGSI[1]

L'augmentation de la productivité et de la réactivité est devenue un objectif incontournable pour les gestionnaires des systèmes manufacturiers. Il est devenu, par ailleurs, tout aussi nécessaire de prendre réellement en compte les nouveaux comportements humains. La productivité implique une attention sur les variables externes à l'entreprise (clients, ventes...), ainsi que sur les ressources propres (moyens de production, hommes...). La réactivité, quant à elle, conduit à beaucoup de souplesse dans les programmes, une excellente connaissance des attentes exprimées à l'externe (clients, contexte socio-économique...) et une parfaite connaissance des attentes et activités à l'interne (production, contexte social...). Cela fait naître des difficultés toujours plus pressantes : connaître l'état du système de production à tout moment, mesurer les écarts et changements, et connaître leurs causes, connaître et mesurer l'évolution des facteurs impliquant les hommes.
Ainsi le système de management de la production doit intégrer de nouvelles composantes qui permettent l'augmentation de la productivité et de la réactivité, sur la base d'une meilleure connaissance des activités vécues à l'atelier. Le système de planification et replanification devra alors prendre en compte tous les événements relatifs aux ressources de production tout en préservant le sens de ceux-ci. Après avoir rappelé le fonctionnement des systèmes de gestion industrielle de type MRP2, puis celui du pilotage d'atelier, cet article en analysera les forces et faiblesses pour introduire une présentation de différents travaux de recherche qui s'intègrent dans le cadre général de cette problématique. Ces travaux ont donné lieu, pendant six ans, à l'élaboration de deux thèses et de deux DEA au laboratoire de recherche de l'ENSGSI à Nancy.

Le système MRP2[2].

Ce système remplit les fonctions suivantes :

- Planification de la production, laquelle établit les priorités et les capacités correspondantes.
- Mise en œuvre et gestion des plans élaborés par la planification de la production qui correspondent au "pilotage de l'atelier" et à la gestion des approvisionnements.
- Gestion des stocks.

Toutes ces fonctions sont à mettre en œuvre en même temps. La gestion des stocks pourra opérer d'une manière indépendante uniquement pour les articles achetés puis vendus sans apport spécifique de valeur ajoutée.

Le système répond à quatre questions :

- Que doit-on faire et pour quand ?
- Que faut-il pour le faire ?
- Qu'avons-nous déjà ?
- De quoi avons-nous besoin ?

Ces questions sont des problèmes de *priorité* et de *capacité*.

Le marché établit les priorités relatives aux produits fabriqués, combien et quand les faut-il ? La capacité représente les possibilités

1 - Ecole Nationale Supérieure en Génie des Systèmes Industriels.

2 - Manufacturing Resources Planning.

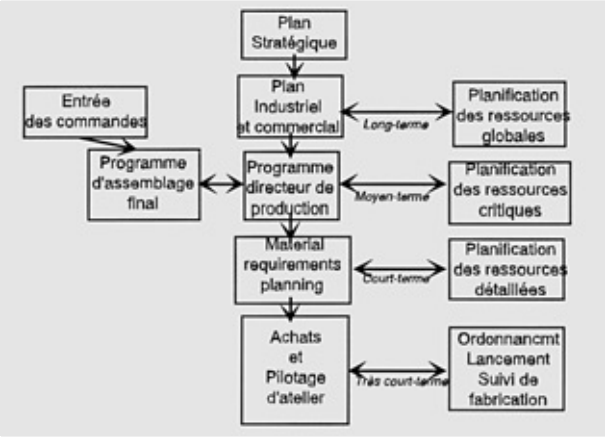


Figure 1. Le système MRP2.

de produire ces biens et services. Elle dépend des ressources.

Il existe cinq niveaux de décision. A chaque niveau le système définit :

- Les priorités.
- La capacité disponible.
- La résolution des écarts.

Le plan stratégique

Il s'intéresse aux types de marchés (part de marché à conquérir, par exemple) et s'appuie sur des prévisions de long terme. Il est établi en francs, induit la participation de la direction et implique le marketing, les finances, la production et la conception.

Le Plan Industriel et Commercial (PIC)

Il est établi en fonction des objectifs du plan stratégique et concerne les familles de produits. Il définit les volumes de vente (et donc de production), les niveaux de stocks, les besoins en équipement et en ressources...

Le Programme Directeur de Production (PDP)

Il éclate le PIC par produit fini (en général) pour définir quantités et dates auxquelles on devra les réaliser. Il s'appuie sur des prévisions de vente, des commandes fermes, les stocks et les capacités disponibles. C'est un outil important que nous décrirons plus en détail.

Le Calcul de Besoin en Composants ou MRP1

C'est un programme de production et d'achat pour les composants et articles utilisés dans un produit fini.

Le Pilotage d'Atelier

Il permet de lancer dans un ordre défini et de suivre les ordres d'achat et de fabrication. C'est aussi un point important pour notre sujet, nous y reviendrons.

L'utilisation du PDP

Le PDP : un contrat.

Le programme directeur de production (PDP) est un important outil (planning) qui constitue la base de la discussion entre les ventes et la fabrication. Il permet le calcul des besoins en composants ainsi que le calcul des ressources et capacités nécessaires.

Alors que le PIC s'applique aux familles de produits, le PDP concerne les produits finis : le total de ceux-ci dans les différents PDP correspondra au total établi au niveau du PIC.

Le PDP est un programme pour la fabrication. Il permet aux ventes et à la fabrication de savoir quand les produits seront disponibles. Il s'agit d'un contrat concerté entre production et marketing.

Le PDP se prépare en 3 étapes :

1. Réaliser un premier PDP.
2. Comparer ce PDP avec la capacité disponible.
3. Résoudre les problèmes d'écarts (adéquation charge/capacité).

Il s'agit donc d'un ordonnancement que l'on réalise avant le lancement réel en production : c'est un *ordonnancement prédictif.* Par exemple, pour une entreprise qui établirait un PDP toutes les semaines, ce travail pourrait être réalisé le vendredi soir pour être mis en œuvre le lundi matin suivant et concerner la semaine en cours.

Les bornes de planification.

Le PDP peut subir plusieurs changements comme :

- Annulation ou modification d'une commande client.
- Une panne machine, ou une nouvelle machine mise en œuvre, un changement de capacité.
- Des fournisseurs qui ne respectent pas les dates de livraison.
- Des process qui créent plus de rebuts que prévu.

Ces changements induisent :

- Une augmentation des coûts due aux reprogrammations et aux en-cours.

- Une diminution du service client (en rapport aux autres commandes).
- Une perte de crédibilité pour le PDP et le process de planification.

Pour faciliter le process de prise de décision, les entreprises établissent des zones dans leurs programmes (figure 2).

Ainsi il est très fréquent, afin de rendre leur système de gestion moins "nerveux" face à la variabilité de la demande, que les entreprises "gèlent" une semaine, voire plus, de leur programme de fabrication.

Le Pilotage d'atelier

Le pilotage d'atelier est responsable de l'exécution du PDP, de la planification du besoin en composants (MRP), ainsi que de la bonne utilisation de la main-d'œuvre et des machines. Il minimise les en-cours et assure le meilleur taux de service client.

Le travail doit être planifié de manière à respecter les dates de besoin, pour ce faire il faut :

- Assurer que toute chose nécessaire sera disponible (matières, outils, personnel, informations...).
- Programmer les début et fin de chaque ordres.

Une fois ces planning faits, le pilotage d'atelier devra les mettre en œuvre en spécifiant à l'atelier ce qui devra être fait. C'est le lancement. Le process doit alors être suivi pour savoir ce qui s'est réellement passé. Les résultats sont comparés au programme prévu et des actions correctives sont prises si nécessaire. Il sera nécessaire de faire les choses suivantes :

- Mettre les OF selon les priorités désirées et établir la feuille de lancement.
- Suivre les performances réelles des opérateurs et les comparer aux programmes.
- Piloter et gérer les en-cours, les délais et les files d'attente.
- Faire le suivi de fabrication : l'efficience, les temps opératoire, les rebuts...

La capacité peut être appréhendée de différentes manières dans le domaine du pilotage d'atelier. En effet, nous devons tout d'abord différencier la capacité requise pour faire un travail (la charge de travail) de la capacité disponible à un instant donné (sur un poste de charge). La détermination de cette dernière pouvant d'ailleurs être soit calculée, soit mesurée.

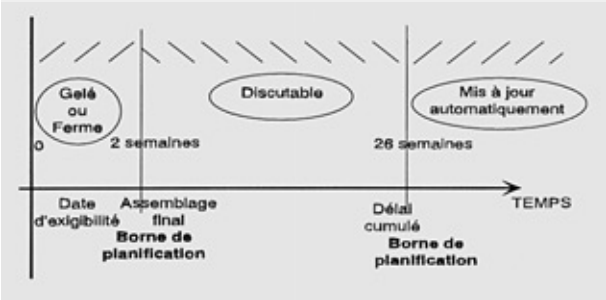


Figure 2. Les bornes de planification.

Pour savoir si un programme de travail (PDP ou ordonnancement détaillé) est réalisable, il faut s'assurer que la charge pour un poste de charge (PdC) ne dépasse pas sa capacité disponible. Ce travail se fait prioritairement sur les postes critiques (contraintes de capacité) et donc cela concerne essentiellement le PDP.

L'analyse se fait en deux temps : chargement à capacité infinie puis ajustement à capacité finie.

Les systèmes MRP2 fonctionnent selon ce mode de calcul (figure 3).

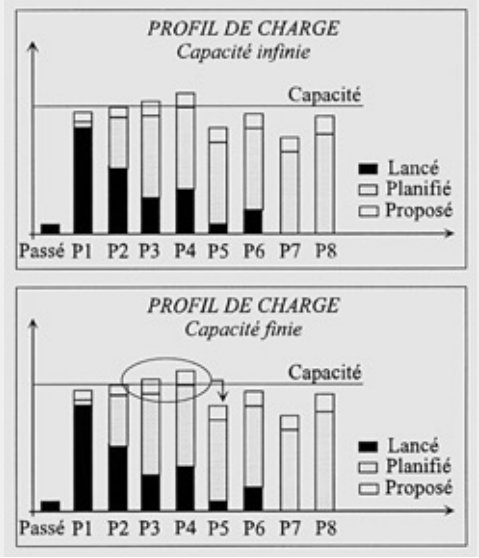


Figure 3. Le planning de charge

L'ordonnancement

L'objectif de l'ordonnancement est de permettre le respect des dates d'exigibilité en optimisant les ressources de l'entreprise. Pour établir un programme de travail on doit connaître :

- Les délais, qui comprennent des temps de file d'attente, de préparation, de transformation, d'attente avant transfert et de transfert.
- Les gammes.
- Les capacités disponibles et requises.

- Les OF en-cours.

Il y a beaucoup de manières de gérer les priorités des OF, mais certaines sont très utilisées (FIFO, LIFO, CR, EDD[3]...) à cause de leur simplicité et de leur compréhension aisée. On peut, par ailleurs, avoir recours à des techniques particulières telles le chevauchement[4] ou le fractionnement[5] des OF.

Le contrôle des entrées/sorties

C'est le niveau le plus bas du management des capacités. Il s'agit en fait du "tableau de bord" de pilotage de l'atelier (mesure de ce qui entre et sort des PdC, mais aussi des files d'attente...) L'objectif est de mettre en évidence les entrées, les sorties et les écarts entre le prévu et le réalisé.

Ces informations sont inscrites dans la fiche de contrôle des E/S éditée pour un PdC. Notons cependant qu'elles ne sont généralement pas suivies en temps réel (figure 4).

Fiche de contrôle des E/S

		Périodes -2	-1	Auj	1
Entrées	*Planifié*	300	300	300	300
	Réél	290	300	310	
	Ecart cumulé	-10	-10	0	
Sorties	*Planifié*	320	320	320	300
	Réél	330	300	320	
	Ecart cumulé	+10	-10	-10	
File d'attente	*Planifié*	260	240	220	200
	Réél	240	240	230	

Figure 4. La fiche de contrôle des E/S.

Le suivi de fabrication.

Son rôle général est de procurer au gestionnaire un retour d'information de l'atelier qui lui sera utile pour faire les ajustements de planification et prendre ses décisions. Mais il est aussi utile pour le calcul de certains éléments de salaire, des charges et des coûts de production.

Les informations requises sont :

- Les statuts des OF (lancés, en attente, clos...).
- La fiche de contrôle des E/S par poste de charge.
- L'état des stocks.
- Les messages d'anomalies (rebuts, retards, retouches...)

On a souvent pu constater qu'un grand nombre de ces informations sont aussi utiles au gestionnaire de la qualité et aux personnes impliquées dans une démarche de progrès permanent. C'est pourquoi il existe de plus en plus de systèmes intégrés liant le suivi de fabrication à la gestion de la qualité, à la maintenance...

D'un point de vue de sa mise œuvre, cette fonction peut faire appel à certains matériels spécifiques tels que les lecteurs de codes à barres, les terminaux d'atelier, les systèmes de management visuels.

Les forces et les faiblesses du fonctionnement traditionnel

La nécessité de capter les informations

Il apparaît de manière évidente que, pour pouvoir maîtriser la production, il est nécessaire de s'appuyer sur des données issues de la production même et de l'ensemble des systèmes environnants. Cependant, ces données ne peuvent avoir de l'intérêt que dans la mesure où elles sont fiables et associées aux faits qui les ont générées. Les opérateurs sont à l'origine des faits, ce sont eux qui donnent les informations relatives au vécu en atelier, ce sont encore eux qui reçoivent les données issues de la gestion.

C'est dans les systèmes de retour d'informations que les faiblesses sont les plus marquées. Les informations qu'ils véhiculent sont totalement séparées de l'analyse du quotidien et des faits qui s'y rapportent. On peut aujourd'hui être submergé d'informations qui ont perdu toute signification, et par-là même beaucoup d'intérêt. En fait, ces données ne sont intéressantes que dans la mesure où les différents éléments s'y référant sont pris en compte. C'est-à-dire que l'on garde trace des éventuels problèmes survenus faisant l'objet d'une réflexion pour leur résolution et des modifications qui ont fait évoluer le système d'une manière stable. Il sera alors nécessaire de visualiser cette évolution.

Le suivi de production

Aujourd'hui, les entreprises n'ont pas une vision fiable, ou tout au moins complète de leur système productif et de ce qui a été réalisé, non réalisé, des pannes, des rebuts... Le suivi de production, quand il existe, est utilisé

3 - First In First Out - Last In First Out
Critical Ratio - Earliest Due Date.

4 - Le chevauchement est une méthode qui consiste à engager en production la première partie d'un lot pour une opération sans attendre que l'opération précédente soit.

5 - Le fractionnement consiste à éclater une charge de travail relative à une phase sur plusieurs postes de charge afin de diminuer les délais.

dans le court terme, pour répondre aux dysfonctionnements relatifs aux objectifs du système de production et pour alimenter de données le système financier. Il est perçu comme un outil d'investigation et comme un support pour réguler les volumes stockés.

Les écarts entre "prévu" et "réalisé" persistent :

- Les logiciels et outils traditionnels de gestion utilisent des données homogènes et quantifiables, alors que la réalité quotidienne n'offre pas toujours de telles informations.
- Tout au long des différentes phases de la fabrication, et selon les diverses demandes exprimées par les clients, le produit peut subir beaucoup de modifications. Le logiciel, quant à lui, ainsi que le mode de gestion qu'il induit, créent de "l'inertie" : une modification décidée en un endroit de la chaîne fonctionnelle de l'entreprise n'est pas immédiatement et uniformément prise en compte par tous dans l'entreprise (les traitements de planification ne se font qu'à la semaine, ou au mois, par exemple).
- Une autre source d'écart vient des erreurs d'utilisation du système de gestion. Le système de GPAO est le système le plus utilisé de l'entreprise : toutes les personnes sont concernées et donc, les sources d'erreurs dans les informations saisies sont nombreuses. Les données saisies pour le suivi de production sont, même si elles le sont en temps réel, quelquefois regroupées et traitées, par cumul, à la semaine ou par regroupement selon différents critères préétablis : on perd, par-là même, précision et intérêt. En s'écartant du quotidien, elles perdent leur sens. A ce propos, nous pouvons remarquer que ces informations relatives aux activités et aux tâches du quotidien de l'atelier sont utilisées, suivant les cas, à des fins totalement différentes : pour certaines sociétés, c'est la gestion du travail et des ordres de fabrication qui motive la connaissance de ce qui a été réalisé, pour d'autres, c'est la gestion des salaires qui la nécessite, pour d'autres encore, ces deux objectifs sont visés. Cependant, les logiques de gestion qui s'ensuivent sont très différentes, et la perception qu'ont les opérateurs du suivi de production peut donc prendre aussi des aspects très variés. La transparence par rapport aux objectifs d'utilisation de ces informations doit être totale au risque d'induire un manque d'implication des opérateurs et par-là même des problèmes de fiabilité des données.
- On peut remarquer encore d'autres sources d'écarts qui peuvent résulter de l'utilisation même des traitements du suivi de production, dans leur retranscription lors du retour de ces informations vers l'atelier ou dans leurs interprétations. Les écarts peuvent être encore visibles par le fait que le cycle de régénération de la planification n'est pas toujours correspondant aux cycles de production : par exemple dans le cas d'une activité dont la durée est supérieure au cycle de planification ou lorsque, à l'inverse, on ne replanifie pas alors que la machine est en réglage, ou en arrêt pour maintenance (la programmation, à cet instant, peut la déclarer "chargée").

La programmation à capacité infinie (ICS[6])

Comme nous l'avons vu, le PDP et le MRP1 sont établis sur cette base. En fait, ICS ne permet pas d'optimiser l'usage des ressources critiques de production, ni d'aider l'atelier à répondre vite aux changements de la demande; cependant, par ailleurs, la programmation à capacité finie (FCS[7]) propose des programmes de fabrication qui ne sont plus optimisés quand ils arrivent à l'atelier car pendant le temps de calcul de cet optimum, l'état du système n'est déjà plus le même.

Les différents points d'argumentaires seraient longs à développer dans ce débat entre ces deux techniques, mais nous pouvons citer :

- FCS procure des programmes de fabrication dans la limite de la capacité des ressources critiques, puis il rejette les autres plus tard. Mais peut-on refuser aujourd'hui une commande et/ou le délai client est-il lui infini ?
- Le critère essentiel pour décider de quel travail faire dans une plage de capacité donnée est la date d'exigibilité (FCS).
- Pour que le logiciel de FCS soit réaliste, il doit permettre d'indiquer et de quantifier très exactement les postes critiques, sinon l'optimisation est irréaliste. Tous les progiciels ne le font pas encore très bien.
- ICS ne permet pas d'optimiser l'usage des ressources et d'être très réactif et flexible à cause du fait qu'il travaille avec des moyennes (Temps gamme, délais...)
- FCS implique de reprogrammer le travail très souvent. Cela prend du temps et pendant ce temps la réalité change!....

La replanification ou l'ordonnancement réactif

Un des grands avantages du système MRP2 est d'être hiérarchisé. En effet les 5 niveaux de

6 - Infinite Capacity Scheduling.

7 - Finite Capacity Scheduling.

planification permettent de maîtriser "l'effet de vague" qui serait induit par une inadéquation charge/capacité. Concrètement, au niveau global, par famille de produits et par produits finis on s'assure que la charge ne dépassera pas la capacité des goulots d'étranglement. A un niveau plus détaillé avec le MRP on fera la même chose par rapport aux postes de charge détaillés. En fait, cette réflexion est "prédictive". Les ordonnancements que l'on fait pour l'assemblage des produits finis ou pour la mise en production des composants, ou encore l'approvisionnement des matières premières se font toujours en "prévision" de ce que l'on fera : on planifie les activités futures! Cependant, pour limiter les perturbations, on a souvent recours à des bornes de planification pour "geler" les périodes de très court terme (voir paragraphe précédent). Si cela est un avantage pour limiter la "nervosité" du système, cela induit cependant quelques contraintes, dont la principale est l'*inertie.*

En effet, si les clients imposent à l'entreprise une grande réactivité, beaucoup de flexibilité, on cherchera alors à limiter le plus possible la longueur de cette période. On a souvent pu montrer que la grande majorité (environ 80 à 90 %) des entreprises utilisant un système MRP2 valident pour la production un PDP toutes les semaines. Cela signifie que l'ordonnancement prédictif effectué au niveau du PDP pour l'assemblage ou la fabrication des produits finis va générer une "liasse d'OF" qui sera mise en fabrication pendant toute la semaine suivante, au niveau du PDP ; cette liasse est ordonnancée, mais une multitude d'événements dans la semaine conduiront à remettre en cause cet ordre. Il est alors nécessaire de faire des replanifications. Le fait d'avoir gelé la période entre deux PDP imposera un changement de séquence uniquement pour les OF de cette liasse non encore lancés. C'est évidemment une contrainte importante face à tous les dysfonctionnements pouvant apparaître en production.

Pour toutes ces raisons, il nous est apparu intéressant de proposer un système qui intégre à la fois les démarches qualité en production et les activités de pilotage d'atelier. Ce système permettant de réaliser des replanifications entre deux PDP (ordonnancement réactif), pour tenter, dans la mesure du possible, d'ajuster la charge restante à traiter sur la capacité réellement disponible à cet instant et dans le temps restant jusqu'à la fin de la période considérée. Les ordonnancements, dans les systèmes MRP2, sont traditionnellement faits par lots complets (un lot de 350 pièces, par exemple, étant traité comme une entité fixe, le temps nécessaire à sa transformation sur un poste de charge étant alors le temps gamme multiplié par 350), ils utilisent des temps moyens et ne prennent pas en compte les aspects dynamiques liés à la théorie des files d'attente. Une solution, quand il s'agit de replanifier de petites quantités déterminées d'OF, consiste à replanifier en analysant l'ajustement charge/capacité de manière détaillée en fonction de la dynamique réelle, pièce à pièce, des flux induits par ces OF. On utilise alors la simulation dynamique de flux pour saturer de manière effective les postes contraintes.

Le pilotage a besoin d'être encore plus dynamique

Le système de gestion de production aujourd'hui doit donc, à partir du flux d'informations réellement représentatives du système productif faire des propositions de pilotage qui prennent en compte le court terme vécu dans l'atelier. Cet objectif est ambitieux car la réalité industrielle n'a plus aucune stabilité, la nécessaire flexibilité des entreprises impose des changements de programmes de fabrication extrêmement fréquents. De plus, la réactivité induit encore une plus grande cohérence entre les replanifications proposées et l'état, à l'instant "t", de l'appareil de production : il s'agit en fait de limiter au maximum les écarts entre la modélisation sur laquelle s'appuie la construction des planifications et la réalité vécue à l'atelier. Ceci conduit donc à devoir simuler ces propositions de replanification non plus statiquement, mais dynamiquement en intégrant les phénomènes aléatoires liés aux fréquences de distribution. Un troisième facteur à prendre en compte est le fait que les démarches qualité totale induisent des bouleversements tant dans l'organisation du travail que dans les comportements humains, et dans le savoir-faire. Il résulte donc de tout ceci que, d'une part, les données de charge sont particulièrement versatiles et que, d'autre part, les données de capacité ne sont plus des constantes.

Nos propositions

Il s'agit, d'une part, d'intégrer dans le système MRP2 des composantes nouvelles :

- Un outil de communication entre les hommes d'un même secteur leur permettant d'augmenter les capacités de leurs ressources, ainsi que leur engagement.

- Un outil de communication entre les composantes du système de gestion permettant au gestionnaire de connaître et de dialoguer avec les acteurs de la production.
- Un outil de communication entre les fonctions du système de pilotage d'atelier permettant de donner plus de réalité aux simulations, dynamiques et prospectives, des propositions de planification.

et, d'autre part, de donner aux acteurs dans ce système, une nouvelle démarche.

Cette démarche se traduit, dans un premier temps, par l'utilisation d'outils de management visuel [GRE 98] associés à un logiciel. Les premiers étant des outils de communication permettent aux différents acteurs de la zone de travail considérée de gérer par eux-mêmes l'amélioration de leur propre système de production (poste de travail, machine isolée ou ensemble de machines), de suivre des indicateurs de performance représentant l'évolution du travail fait ainsi que les résultats des propositions d'amélioration mises en place. Avec une telle gestion, nous avons un système de production dont la capacité change assez fréquemment. Si cela rend le système physique plus réactif, il impose une difficulté supplémentaire au pilotage de l'atelier. Pour faire face à ce problème, le logiciel VECA [THO 93], développé au sein de notre laboratoire, a pour mission le suivi de la fabrication, la gestion quantitative des indicateurs et la mise à jour de la base de données que le système M. R. P. utilise pour faire ses propositions de planification.

Le système VECA s'articule en deux sous-systèmes interfacés. Le premier de communication visuelle et l'autre de suivi de fabrication et de gestion des indicateurs.

Dans un deuxième temps, la démarche a conduit à développer une interface qui se situe entre le module de pilotage d'atelier, le module de calcul des besoins et un module de simulation dynamique de flux (figure 6).

Le système [GUI 97] exploite les données venues du M. R. P2 (figure 7), il effectue :

- **Un calcul à capacité finie** qui doit tenir compte de l'état de l'atelier et de son environnement ;
- **Une modulation des quantités lancées** en fonction de l'état de charge observé sur les postes de travail et des nécessités de synchronisation des flux des produits ;
- **La remise en cause de la planification de type M. R. P.** (jalons et quantités) en fonc-

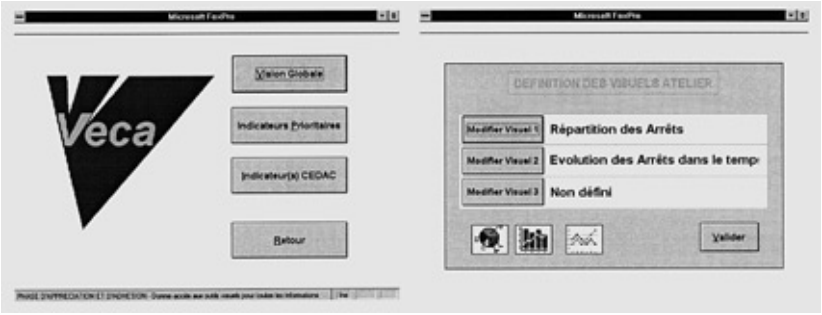


Figure 5. Le système VECA.

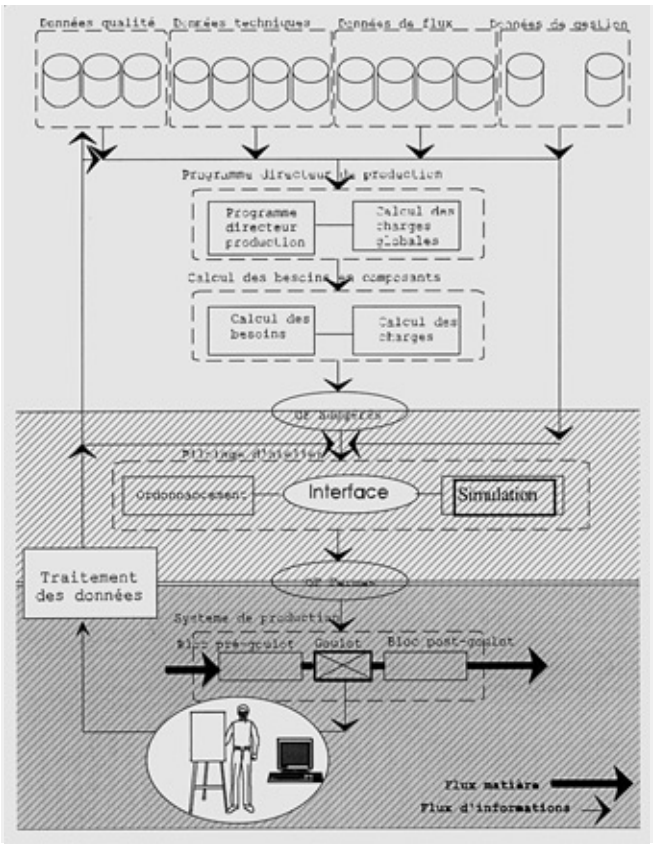


Figure 6. La maquette du système proposé.

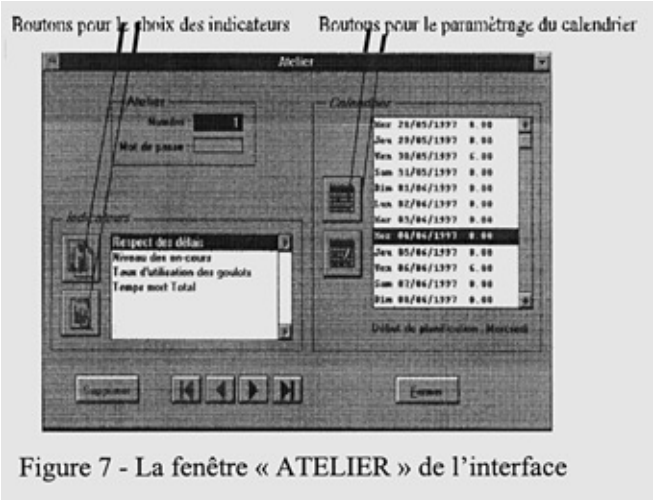

Boutons pour le choix des indicateurs
Boutons pour le paramétrage du calendrier
Atelier
Figure 7 - La fenêtre « ATELIER » de l'interface

Figure 7. La fenêtre "ATELIER" de l'interface.

tion des résultats de l'ordonnancement à capacité finie.

L'usage :

L'usage montre que pour répondre réellement à ces objectifs de réactivité, l'outil présenté doit être extrêmement souple, facile et rapide d'emploi. L'horizon étant nécessairement de très court terme, le volume du "portefeuille d'OF" qu'il devra considérer pour les réordonnancements sera toujours faible (par rapport à celui de l'ordonnancement prédictif)[8] [THO95-c-]. Cependant, il ne faut pas que le temps passé à créer le modèle du parc machines au niveau du logiciel de simulation dynamique de flux, ni même que le temps passé à réaliser ces simulations soient pénalisants. Aussi nous avons posé comme hypothèse qu'il existait *dans ce contexte*, un modèle générique : le modèle primaire simplifié - (fig. 8) représentatif de tout flux résultant d'une gamme de fabrication [MAR94].

Figure 8. Le modèle primaire simplifié.

Ainsi tout OF utiliserait le même modèle constitué de trois entités : au centre la machine contrainte de capacité pour cette gamme, en amont le "bloc avant-goulot" et en aval, le "bloc après-goulot", chacune de ces deux dernières entités pouvant représenter un ou plusieurs postes de charge.

Le "portefeuille d'OF" à réordonnancer ne comporte que peu d'OF, ainsi le modèle général simplifié portant sur l'horizon à traiter ne sera construit qu'à partir d'un nombre restreint de modèles primaires (fig.9).

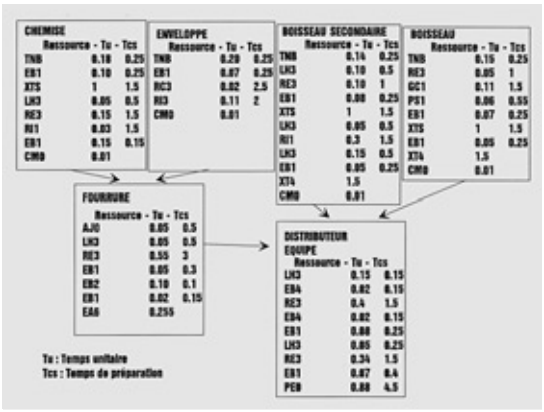
Par exemple, le fichier gamme de la Fig. 10 montre un cas d'étude qui met en œuvre 17 postes de charge. Rappelons que la gamme est le document sur lequel est inscrit la suite des opérations de transformation du produit.

La réalisation de la gamme de la fourrure est conditionnée par l'exécution des gammes de la chemise et de l'enveloppe. Il en est de même pour le distributeur vis à vis de la fourrure, du boisseau secondaire et du boisseau.

Figure 10. Gammes simplifiées d'un distributeur.

Pour fabriquer un distributeur équipé, on utilise les composants suivants : Boisseau, Fourrure et Boisseau secondaire. De plus, pour fabriquer une Fourrure, on utilise une Enveloppe et une Chemise.

La période de replanification considérée



concerne une liasse de 10 ordres de fabrication (OF) de ces six articles :

- OF1 - 10 chemises
- OF2 - 10 enveloppes
- OF3 - 10 Boisseaux sec.
- OF4 - 10 boisseaux
- OF5 - 10 fourrures
- OF6 - 27 chemises
- OF7 - 27 enveloppes
- OF8 - 27 boisseaux sec.
- OF9 - 27 boisseaux
- OF10 - 10 distributeurs

Le tableau figure 11 permet de montrer la charge sur la période, de ces différents postes. Cette fonctionnalité est réalisée par l'interface, elle est un préalable à la simulation. Ce tableau met en évidence le goulot conjoncturel "XTS". Le goulot structurel "XT4" étant lui aussi très chargé.

Rappelons qu'un goulot structurel est un PdC qui est traditionnellement surchargé : des analyses historiques de charge l'ont montré. De plus, un goulot conjoncturel est un PdC qui, pour cette liasse d'OF, ce PDP et cette période, est surchargé.

Notre hypothèse conduit à proposer un modèle simplifié. dans lequel nous trouvons les

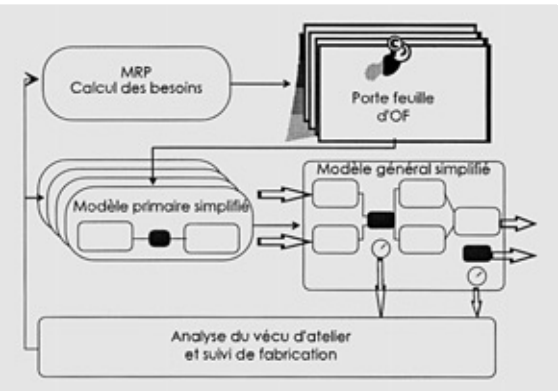


Figure 9. Le modèle général de simulation.

8 - Ordonnancement validé au PDP relatif à la période condidérée, voir précédemment.

O. F.	Désign	Q	Tps. Gam/OF	TNB	LH3	AJ0	RE3	EB1	EB2	EB4	XTS	RI1	XT4	EA6	CM0	RC3	RI3	GC1	PE0	PS1
1	Chemise	10	22,35	2,1	1	0	3	2,9	0	0	12	1,8	0	0	0,1	0	0	0	0	0
2	Envelop	10	9,1	2,3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0,1	2,7	3,1	0	0	0
3	Bois sec	10	41,05	1,7	4,5	0	2	1,8	0	0	12	4,5	15	0	0,1	0	0	0	0	0
4	Boisseau	10	35,3	1,8	0	0	1,5	1,7	0	0	12	0	15	0	0,1	0	0	2,6	0	1,2
5	Fourrure	10	15,3	0	1	1	8,5	1,2	1,1	0	0	0	0	2,6	0	0	0	0	0	0
6	Chemise	27	50,74	5,1	1,9	0	5,6	7,2	0	0	29	2,3	0	0	0,3	0	0	0	0	0
7	Envelop	27	16,07	5,7	0	0	0	2,1	0	0	0	0	0	0	0,3	3	5	0	0	0
8	Bois sec	27	100,21	4	9,6	0	3,7	4	0	0	29	9,6	41	0	0,3	0	0	0	0	0
9	Boisseau	27	86,3	4,3	0	0	2,4	3,7	0	0	29	0	41	0	0,3	0	0	4,5	0	2,2
10	Distrib	10	22,29	0	2,4	0	3,7	2,2	0	0,7	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0
			398,71	27	20	1	30	28	1,1	0,7	120	18	111	2,6	1,5	5,7	8,1	7,1	13	3,3

Figure 11. Tableau des charges.

deux postes contraintes de capacité et trois autres "blocs" qui, selon les OF simulés, prennent différents sens.

Nous pouvons expliciter davantage le comportement du bloc 1 (figure 12), par exemple, en nous appuyant sur le cas de l'OF1. Ce bloc représente l'agrégation des postes TNB et EB1. Compte tenu des temps gamme sur ces postes, une pièce en sort toutes les 0,18 heure. Le temps de passage pour ce bloc peut être appréhendé de deux manières. La première, simplificatrice, consiste à considérer la durée de service comme la somme des temps gamme (réglage compris). La deuxième prendrait en compte le temps d'attente moyen dans la file interne. Dans notre contexte (très court terme et postes goulots), nous avons considéré, dans un premier temps, que la première interprétation de cette durée de service était suffisante. La validation par la simulation sur le modèle simplifié et sur le modèle complet validant cette hypothèse.

Le tableau figure 13 présente, dans les deux cas, les fréquences d'arrivée sur les deux postes contraintes de capacité, ainsi que les délais pour y arriver, dans le cas du lancement de l'OF9.

C'est l'interface qui calcule la somme des temps gamme pour la durée de service dans les blocs. C'est l'utilisateur qui définit l'ordre de lancement des OF. Rappelons que le nombre d'OF est limité et que l'analyse se borne à saturer les postes contraintes et à respecter les délais; il s'agit donc pour lui d'activer le(les) goulot(s) au plus tôt et

Figure 12. Le modèle simplifié.

d'éviter les ruptures. Pour ce faire, il lui suffit de lancer en premier l'OF de la liasse qui permet d'activer "XTS" au plus tôt. Le système lui donnera alors, l'interface faisant le calcul, la date de lancement -A- du deuxième OF utilisant cette même contrainte. En appliquant cette logique pour toute la liasse, l'utilisateur du système aura un "programme maître" qui pourra servir de référence à d'autres simulations comparatives (fig. 14).

L'interface calcule alors les indicateurs nécessaires à la décision :

- Taux de charge - XT4.
- Taux de service client.

L'intérêt d'un tel système (en plus de ceux cités) est qu'il laisse la liberté à l'utilisateur, après avoir obtenu ces programmes, de faire

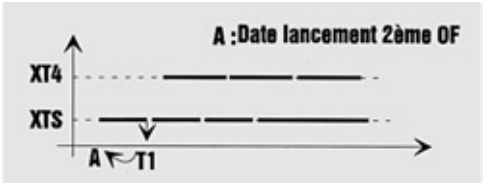


Figure 14. Le programme maître des goulots.

varier, si son organisation le lui permet, la taille des lots de transfert et de constater, instantanément, l'impact sur la dynamique réelle des pièces. Il lui permet aussi de faire varier, le

	Modèle complet	Modèle simplifié
Fréquences d'arrivée XTS	0.15	0.15
Fréquences d'arrivée XT4	1	1
Délais XTS	3.99	3.99
Délais XT4	45.79	45.79
Délai global	47.31	47.30

Figure 13. Tableau comparatif-OF9.

cas échéant, le taux de service sur poste (opérateur intérimaire ou problème quelconque de production...), ou tout autre paramètre reflétant la dynamique réelle de la zone de travail considérée au vu des informations qui lui parviennent et qui décrivent les événements survenus dans ce très court terme.

L'approche que nous présentons part du principe qu'il est possible de générer des gains sensibles en réalisant "au plus juste" et au jour le jour l'adéquation charge/capacité sur les postes de charge concernés et sur l'horizon très court qu'il s'agit de replanifier. Ce principe s'appuie sur le constat que les capacités ne sont plus aujourd'hui à considérer comme des constantes, et qu'un réordonnancement fin doit prendre en compte la dynamique des pièces le long des flux de production.

La pratique de l'ordonnancement

Dans ses propositions quotidiennes le système doit coordonner et séquencer un nombre fini d'activités. Il doit aider le gestionnaire à créer des scénarios que celui-ci devra évaluer. Parmi ces scénarios, certains peuvent être meilleurs que d'autres, des comparaisons peuvent être faites avant la prise de décision.

Se pose alors la question des objectifs que le gestionnaire prend en compte. Les suivants sont communément reconnus [BEN 87], [LAM 87] :

- Diminution du niveau des en-cours.
- Maximisation du taux d'utilisation des ressources.
- Réduction des temps de cycle de production (délai par gamme).
- Amélioration du taux de service client (en fait, il cherche à fiabiliser la date de disponibilité des produits, c'est-à-dire, à diminuer au maximum l'écart entre la date de disponibilité de l'article et la date d'exigibilité).

On pourrait encore ajouter :

- Minimiser les coûts de production résultants (encore que peu de gestionnaires en ont les moyens réellement à l'heure actuelle).

Ces objectifs sont des facteurs de plus qui complexifient la prise de décision du gestionnaire.

La figure 15 montre que si on maximise le taux d'utilisation machine, cela conduit à augmenter le niveau des en-cours. En effet, dans le cas où très peu de pièces circulent dans l'atelier, les machines attendront les pièces à transformer. Si on veut que les machines soient en permanence occupées, il faut qu'il y ait au moins une pièce qui attende devant chaque machine à l'instant où celles-ci se libèrent (notion de stock de protection). Et, d'autre part, si on lance à l'atelier plusieurs OF, on augmentera le volume d'en-cours du fait de la taille des lots et de l'utilisation de ressources communes.

Il y a conflit d'objectif !

La figure 16 montre, elle, un sens commun :

On peut observer qu'un niveau d'en-cours élevé conduit à avoir un nombre important de pièces en file d'attente devant les postes et donc à augmenter les délais.

Une étude du CETIM[9] faite il y a plusieurs années (et ayant toujours cours !) a montré qu'une pièce attend 95 % de son temps global de transit. Ce qui signifie que si "T" est le temps global de transit, temps entre le moment où la matière entre dans l'entreprise et le moment où la pièce en sort, la pièce ne sera "prise en main" que 5 % de "T".

D'autre part, on peut montrer facilement [THO 93-b-], comme dans le cas d'école de la figure 17, que la taille des lots de transfert agit considérablement sur la vitesse des flux et donc sur le délai :

9 - Centre d'Etudes des Techniques de l'Industrie de la Mécanique.

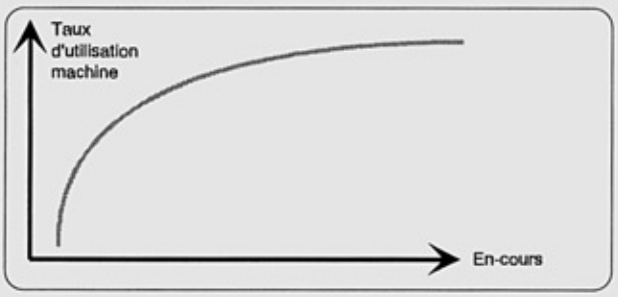


Figure 15

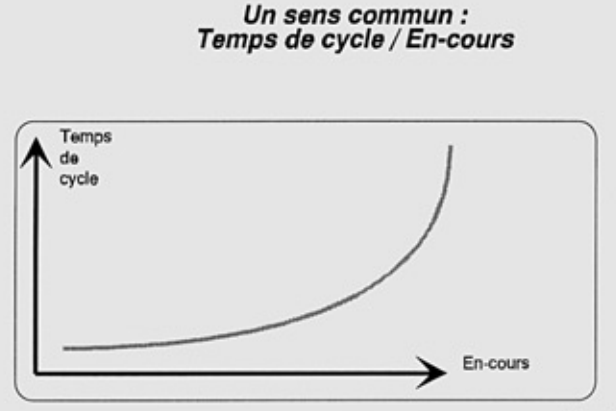


Figure 16

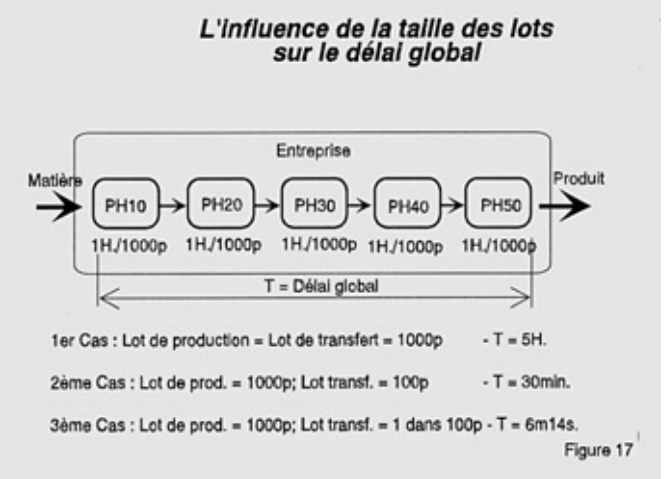
- Un lot de transfert de 1000p, pour un OF de 1000p, conduit à un temps de cycle global de 5 h.
- Un lot de transfert de 100p, pour un OF de 100p, conduit à un temps de cycle global de 30 min.
- Un lot de transfert de 1p, pour un OF de 100p : temps de cycle global de 6 min 14 sec.

En allant plus loin dans notre analyse, on peut ajouter que, en théorie (comme le montre la figure 18), pour obtenir un taux de service client de 100 % avec un délai nul, il conviendrait de stocker de tout, tout le temps ! Là encore, il y a conflit d'objectifs. Le gestionnaire doit chercher à minimiser l'écart entre la date de disponibilité des produits et la date d'exigibilité client, tout en gardant le niveau d'en-cours le plus bas possible. Concrètement, minimiser cet écart conduit à stocker des produits standards et à faire de l'assemblage à la commande. Nous nous trouvons dans le cas des entreprises confrontées au problème du programme directeur de production à plusieurs niveaux. La position du point de découplage sera donc directement liée au délai d'assemblage ou de finition. Dans ce cas, la structure générale des nomenclatures sera de la forme "diabolo".

Le problème est encore plus compliqué car on demande aussi au gestionnaire de minimiser les coûts de production induits. La figure 19 montre que des en-cours très très bas risquent de conduire à des coûts globaux de production élevés (et ce même si l'organisation est gérée suivant une "philosophie juste à temps"). En effet, dans ce cas, le taux d'utilisation des postes de charge, et de toutes les ressources en général, sera très bas. Par ailleurs le moindre aléa risque de rendre encore plus probables les retards à la livraison... Les coûts sont également très élevés dans le cas d'en-cours importants et ceci est dû essentiellement aux frais de gestion et aux perturbations que ces stocks induisent à l'atelier. Il convient donc, comme dans la logique de la formule de Wilson, pour le gestionnaire de connaître le volume optimal d'en-cours à devoir supporter.

Ordonnancer, c'est faire des compromis.

Nous voyons donc bien combien l'ordonnancement conduit à faire des compromis. L'analyse de ces courbes est intéressante car elle montre que la solution n'est pas obligatoirement unique. Il se peut d'ailleurs qu'elle ne soit pas toujours mathématiquement modélisable. Nous sommes dans le cas d'une déci-


L'influence de la taille des lots sur le délai global
Entreprise
Matière
PH10
PH20
PH30
PH40
PH50
Produit
1H./1000p
1H./1000p
1H./1000p
1H./1000p
1H./1000p
T = Délai global
1er Cas : Lot de production = Lot de transfert = 1000p - T = 5H.
2ème Cas : Lot de prod. = 1000p; Lot transf. = 100p - T = 30min.
3ème Cas : Lot de prod. = 1000p; Lot transf. = 1 dans 100p - T = 6m14s.
Figure 17

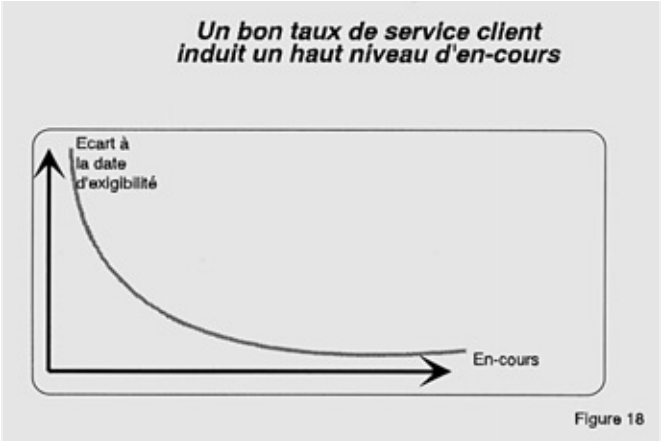


Figure 18

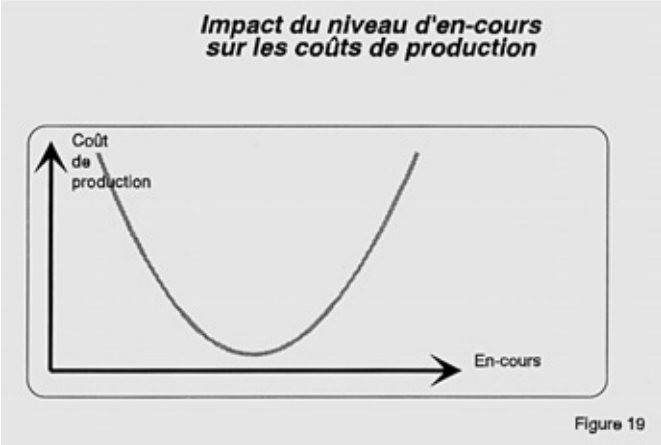


Figure 19

sion multicritères, mais avec la particularité que ces critères ne sont pas statiques, constants à un instant donné et que certains peuvent porter, d'autre part, sur des contraintes humaines très difficiles à appréhender. Prenons, par exemple, le cas de la taille des lots : celle-ci est déterminée par un optimum économique résultant, en particulier, du temps de changement de série. Ce dernier est souvent interprété comme une constante, en fait il n'en est rien. On a l'habitude de le quantifier par un temps moyen, mais nous devons

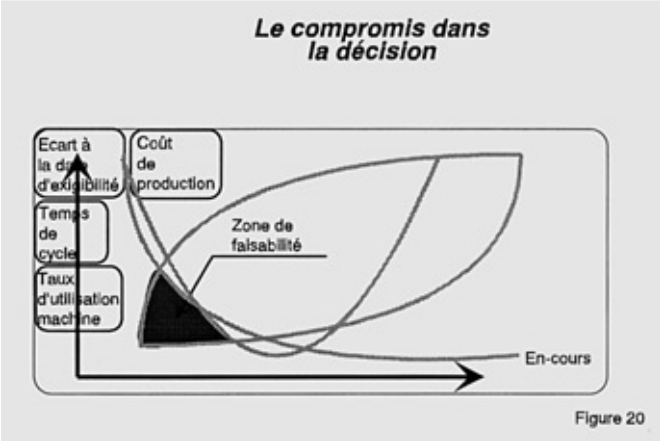


Figure 20

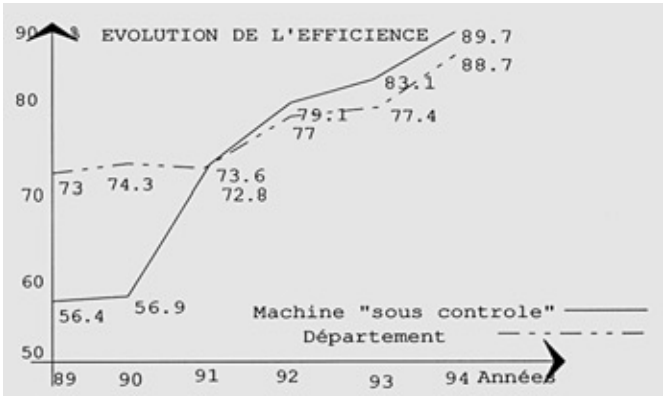


Figure 21. Les résultats

constater qu'd'un réglage à l'autre, avec les mêmes instructions et procédures de travail, les variations de durée peuvent être importantes, ne serait-ce qu'à cause d'un changement de régleur (ou d'un changement de "forme" de ce régleur !).

La figure 20 nous montre qu'il existe une "zone de compromis" induisant une situation intéressante pour les différents critères liés à la prise de décision. Le gestionnaire devant prendre sa décision très vite (sinon il risque de s'écarter de la réalité), il n'est guère important d'être très précis dans ses calculs qui sont de toute façon faux par rapport aux données réelles à l'instant considéré à l'atelier. Il vaut mieux qu'il soit "approximativement exact", mais très rapide. Et que pour ce faire, il ait à sa disposition une "zone de faisabilité" lui donnant l'assurance d'un heureux compromis.

En fait, les critères de décision que nous avons cités, la politique de stock, le taux de service client cible, les coûts internes résultants, les objectifs de délais et le taux d'utilisation des postes de charge ne doivent pas être des données statiques. Ils doivent donc être issus d'un réseau d'indicateurs de pilotage de la production et ainsi être mis à jour en temps réel, afin de faire évoluer en permanence la zone de faisabilité. Ce qui conduit alors à penser des systèmes de gestion industrielle intégrés permettant de suivre le vécu en production en temps réel, mais aussi d'analyser dynamiquement l'impact des événements de l'atelier dans les ordonnancements quotidiens. Car nous ne devons pas perdre de vue que nous sommes dans le champ de l'*ordonnancement réactif*, c'est-à-dire que notre propos concerne l'ensemble des réajustements quotidiens que le gestionnaire est amené à faire pour atteindre ses objectifs de flexibilité.

Les résultats

Ce qui a été validé

Un outil de communication entre les hommes d'un même secteur leur permettant d'augmenter les capacités de leurs ressources, ainsi que leur engagement. Cet outil de communication fonctionne avec les règles d'usage de la communication visuelle [GRE 89] et utilise, entre autre, la dynamique managériale du CEDAC[10] [FUK 89] (l'utilisation de cet outil ne sera pas présentée dans cet article).

Les résultats techniques, financiers et humains que l'entreprise[11] citée en exemple pour présenter nos résultats a pu en tirer, après deux ans de fonctionnement, montrent que les gains apportés localement sont très importants (augmentation de plus de 20 % de l'efficience, diminution de 5 % à 10 % de taux de rebuts et chutes (figure 21).

Un outil de suivi de fabrication distribuant des informations entre le système de gestion et les acteurs de la production ainsi qu'un outil de communication entre les fonctions du système de pilotage d'atelier permettant de donner plus de réalité aux simulations, dynamiques et prospectives, des propositions de planification.

Ce qui est encore en cours de validation.

L'usage de l'interface dans une "philosophie" de management par les contraintes a été testé sur une ligne de production et d'assemblage d'une entreprise d'électroménager[12]. Nous souhaitons aujourd'hui continuer cette phase de validation afin de récolter une quantité de données "statistiquement" probante qui validerait les hypothèses énoncées dans le cadre de cette recherche.

Aujourd'hui quelques fabricants de logiciels essayent de résoudre ce problème, l'intégration des démarches qualité n'est pas intégrée, mais des tentatives d'amélioration

10 - Cause and Effect Diagram with Addition of Cards.

11 - Société industrielle site de production appartenant à un grand groupe international et fabriquant des pointes et des agrafes dans laquelle VECA a été installé : BOSTITCH.

11 - Site de production du groupe SEB.

des processus de replanification ont vu le jour (Dynasys, Synquest). Il s'agit en fait d'un enjeu important pour les distributeur de logiciels de FCS (Moopi, par exemple). Nous pouvons cependant remarquer que les "grands intégrés" du marché (les ERP) restent encore très faibles sur ce point. Différentes études sont aussi en cours dans notre laboratoire de recherche sur ce point en partenariat avec les entreprises SEB et Allied Signal Turbo SA.

Bibliographie

[AFA 89] AFAV, "Exprimer le besoin - Application de la démarche fonctionnelle", AFNOR, Paris, 1989.

[BEN 87] - J. Bénassy - La gestion de production - Hermès - 1987.

[FRA 96] - J. Fraser - "Scheduling : a question of balance" - APICS The performance advantage - 1996.

[LAM 87] - P. Lamy - Ordonnancement et gestion de production - Hermès - 1987.

[FUK 89] R. Fukuda. "Productivité. Mode d'emploi", Editions d'organisation, Paris, 1989.

[GRE 89] Michel Greif. "L'usine s'affiche", Editions d'organisation, Paris, 1989.

[GRE 98] Michel Greif. "L'usine s'affiche" 2e édition, Editions d'organisation, Paris, 1998.

[GUI 94] R. Guimaraes et A. Thomas, "Développement d'un outil d'ordonnancement à capacité finie dans un environnement M.R.P. II à partir de la Simulation Discrète", Actes du 1er Congrès de Compiègne, T.1, pp. 139-146, novembre 1994.

[GUI 97] R. Guimaraes, "Contribution à la réactivité des industries manufacturières ; conception d'une interface logicielle liant la planification au pilotage d'atelier" Thèse de l'INPL, Nancy, Oct. 1997.

[MAR 94] Phillip Marris. "Le management par les contraintes", Editions d'organisation, 1994.

[MEL 84] Jacques Mélèse. "L'analyse modulaire des systèmes de gestion", Editions Hommes et Techniques, 4e édition, 1984, réédité dans la collection "Les classiques EO".

[PRI 94] A. Pritsker and K. Snyder, "Simulation for planning and scheduling", APICS - August 1994.

[ROD 94] P. Roder, "Visibility is the Key to scheduling success", APICS, Planning and scheduling, pp. 53, August 1994.

[SAL 94] Yann Salaün, "L'analyse fonctionnelle: un outil au service de l'organisation", Direction et Gestion des Entreprises, n° 145, janvier/février 1994, Organisation.

[THO 93-a-] - A. Thomas - "La connaissance du vécu en atelier de production" - Thèse INPL - Nancy 1993.

[THO 93-b-] - A. Thomas, M. Barth, D. Karcher, S. Lamouri - MRP par l'exemple - CIPE - 1993.

[THO 95] - A. Thomas et P. Martin - "Production reporting a knowledge base for the production and quality management" - Actes IEPMSS Conference - Marrakech - 1995.

[THO 95] - A. Thomas et R. Guimaraes - "Productivité et réactivité imposent la connaissance et la vision dynamique des événements à l'atelier" - Actes congrès internationnal de génie industriel - Montréal - 1995.

[VOL 92] - Vollmann, Berry and Whybark - Manufacturing planning and control system - Business One Irwin - 1992.

[WIL 96] - B. Williams - "Leveraging information systems for enhanced productivity" - APICS The performance advantage - 1996.

The Institute of Logistics and Transport

CARDIFF UNIVERSITY

Call for Papers

LOGISTICS RESEARCH NETWORK ANNUAL CONFERENCE 2000

"Future Challenges in Supply Chain Management"

Organised by the

Lean Enterprise Research Centre, Cardiff University Business School

6th to 8th September 2000

The Annual Conference of the Logistics Research Network will be hosted by the Lean Enterprise Research Centre, Cardiff University Business School from 6th to 8th September 2000.

The conference will provide an opportunity to listen to, and learn from, others in the field of logistics and supply chain management, as well as to network and gain insights into relevant research issues.

Practitioners, academics and all those involved in the study of logistics are encouraged to attend and submit papers. As well as stimulating discussion and debate, this will also be an excellent opportunity to develop ideas for improving operations and logistics strategies and research, that are facilitated by the informality of the networking during the event.

Deadline for abstracts of up to 500 words: 24th March 2000

Please register your interest and/or intention to submit a paper by completing the form below

---

To: LERC, Cardiff University Business School, 45 Park Place, Cardiff, CF10 3BB
Tel: (01222) 874544 Fax: (01222) 874556 E-Mail: lerc@cardiff.ac.uk
☐ Send me details on attendance ☐ I wish to submit a paper

Name: _____ Organisation_____

Address:_____

_____E-Mail_____